

온도 특성을 고려한 피지 선형 회귀 분석 모델 기반 특수일 전력 수요 예측

이경진\* 백영식\* 송경빈\*\* 김문영\*  
 경북대\* 계명대\*\*

A Special-day Load Forecasting with the Characteristics of Temperature based on Fuzzy Linear Regression

Kyoung-Jin Yi\* Young-Sik Baek\* Kyung-Bin Song\*\* Moon-Young Kim\*  
 Kyungpook National Univ\* Keimyung Univ\*\*

**Abstract** - This paper proposes a special-day load forecasting method with the characteristics of temperature based on fuzzy linear regression. We can obtain a linear regression model from the relation between daily peak load and daily maximum or minimum temperature. Simulation results show that the proposed method can improve an accuracy of a special-day load forecasting.

1. 서 론

전력계통의 운용목표는 품질이 좋은 전력을 경제적으로 안정하게 수용자에게 공급하는데 그 목적이 있다. 즉, 전력을 안정적으로 공급하고 전력설비를 경제적으로 운용하기 위해 전력수요를 예측하고, 공급력을 적절히 배분함으로써 이루어진다. 전력계통 최적 운용하기 위해 계통에 대한 정확한 분석이 요구되며 전력수요예측이 필수적이다. [1] 전력수요예측을 위해 사용되는 기존의 방법으로는 크게 전통적인 방법인 시계열 방법과 피지 선형회귀분석을 이용한 예측기법 [2] 그리고, 최근 새로이 주목받고 있는 인공지능을 이용한 신경망 방법 [3] 등이 있다. 시계열 방법 중에서 특히 회귀분석 모델은 예측 모형을 설정하는데 있어서 자기 설명변수만을 고려하므로 예측 모형으로서 단순하고 선형적인 모델이다. 또한, 임계값을 기준으로 온도와 부하의 관계를 2차 함수 모델로 적용하면 커다란 예측오차가 발생하여 좋은 결과를 얻기 힘들다. 따라서, 본 논문에서는 최대 전력 수요를 기준으로 1년 중 온도와 수요간의 영향이 크며 선형성을 유지하는 범위인 하계를 중심으로 기술하였다. 효과적인 온도와 수요간의 상관관계를 도출하여 회귀식을 구성, 기존의 피지 회귀 분석식에 가중치를 적용하여 하계 특수일의 일 최대오차를 개선하였다.

2. 본 론

2.1. 수요와 온도와의 관계 분석

최근 계절별 수요 변동 요인으로 에어컨 수요의 급증에 따른 하절기 냉방수요 급증과 전기를 이용한 난방 수요 증가에 따른 동절기 수요의 변화로 설명할 수 있다. 정확한 수요예측을 위해서는 이러한 기상요소에 대한 변동 특성을 고려할 필요가 있다. 일반적으로 일조시간나 풍속, 강수량과 운량 등의 경우에는 수요와의 적절한 상관 계수 도출이 힘들며 불쾌지수는 냉방수요와 밀접한 관계를 가진 것으로 알려져 있으나 사전예보가 잘 되지 않아 적용상 곤란하다. 따라서, 이러한 특성을 고려하여 온도와 수요와의 상관관계를 우선적으로 살펴보고자 한다. [1]

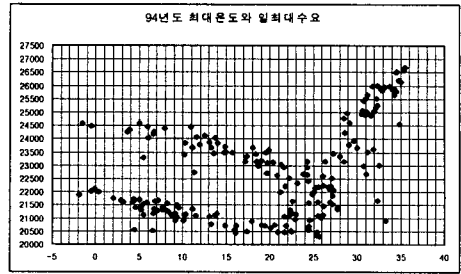
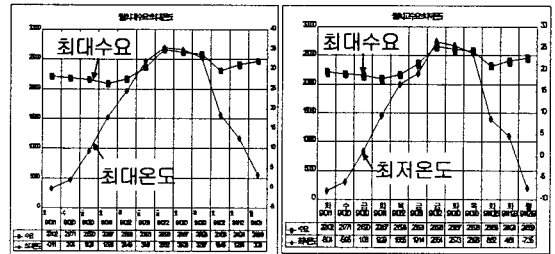


그림 1. 96년 1년간 변화되는 최대온도-최대수요 곡선 (토, 일, 월, 양력 특수일, 음력특수일 제외)

우선 일년간 변화하는 온도-수요 관계에서 살펴보면 그림 1은 우리나라의 96년도 최대온도-최대수요 곡선을 나타낸다. 토, 일, 월, 양력 특수일, 음력특수일 제외한 210개의 평일 데이터 값으로 1월에 좌측 하단에서 시작하여 7~8월중에 우측 상단의 최고점을 거쳐 다시 12월에는 그림 1과 같은 형태의 곡선을 보여준다.

월별 최대수요와 최대온도 월별 최대수요와 최저온도



(1) (2)  
 그림 2. 월 최대수요와 온도와의 관계

월 최대 수요와 온도와의 관계는 그림2의 (1)과 (2)의 경우와 같이 1년 동안의 데이터 중에서 봄과 가을의 경우는 온도에 대한 수요의 변화가 다른 계절에 비해서 거의 나타나지 않으며 겨울철 또한 온도변화에 대한 수요 변화의 영향이 적거나 거의 나타나지 않는다. 겨울철의 경우에는 온도가 감소한다고 해서 난방부하 사용이 크게 증가하지 않는 경향을 보인다. 1년 중에서 온도에 대한 수요의 변화를 뚜렷이 보여주는 경우는 하계의 경우만이 속한다. 봄, 가을, 겨울의 경우에는 그림 3과 같이 커다란 부하예측 오차를 발생시킬 우려가 있으므로 이러한 점을 고려하여 여름의 데이터를 중심으로 정리하고자 한다. [4]

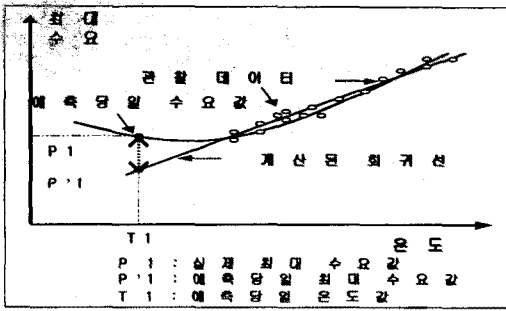


그림 3. 커다란 예측오차 발생의 예

## 2.2. 적용 온도(T)의 결정

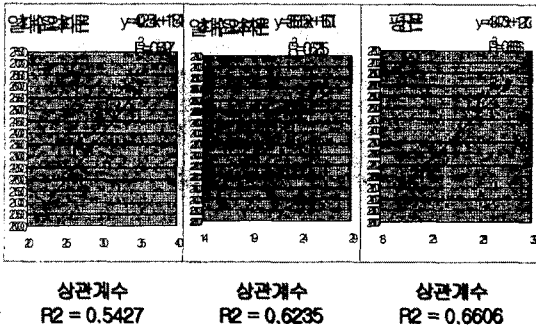


그림 4. 최대온도, 최저온도, 평균온도의 상관계수 비교

최대온도, 최저온도, 평균온도의 경우를 회귀식과 상관계수를 통해 그림 4와 같이 살펴보았다. 회귀분석에서 상관계수는 0과 1사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 해당 값과 연관성이 높게 나타난다. 본 연구에서는 최고온도와 최저온도보다 평균온도의 경우가 상관계수가 가장 높게 나타났다. 일반적으로, 일 최대 수요는 일 최대 온도만에 의한 영향을 많이 받는다고 알려져 있지만, 그림과 같이 일 최대 수요는 최대온도 보다 전날 일 최저온도와 최저온도를 기준으로 한 수요 증가에 의한 영향이 더 크게 작용하였다. 또한 최저온도의 상관계수가 높기 때문에 최저온도에 가중치를 더 많이 주는 경우 상관계수 값이 더 크게 나타났다. 따라서, 적용온도(T)는 상관계수분석을 통해 다음과 같이 정의한다.

$$T = \frac{T_{\max} + \delta T_{\min}}{2} \quad (1)$$

여기서,  $T_{\max}$ 는 일 최대 온도이고,  $T_{\min}$ 은 일 최저 온도이며,  $\delta$ 는 적용 온도를 결정하는 온도결정계수이다.

## 2.2. 온도를 고려한 전력수요예측 알고리즘

본 연구에서는 정확도를 높이기 위한 방법으로 기존의 특수일 전력수요예측에 오차를 개선을 보인 퍼지 선형 회귀분석에 과거데이터를 통한 상수추정을 통해 온도를 고려시켜 보다 정확한 수요예측을 하고자 하는 목적으로 일반화된 수식은 위에서 계산된 온도식과 일 최대 수요를 기준으로 다음과 같이 정의한다.

$$Y = aY_1 + (1-a)Y_2 \quad (2)$$

여기서,  $a$ 는 온도 영향을 얼마나 고려할 것인가를 결정하는 가중치이고  $Y$ 는 일 최대 수요 예측값(MW)이며,

$Y_1$ 은 퍼지 선형 회귀 분석을 이용한 전력수요 예측값(MW)이며 다음의 수식(3)과 같이 정의된다.  $Y_2$ 는 온도를 고려한 회귀 수요값(MW)이며 아래의 수식(4)와 같이 정의한다.

$$Y_1 = Y_i = A_0 \otimes X_i \oplus A_1 \quad (3)$$

여기서,  $A_0(a_0, a_0)$ 와  $A_1(a_1, a_1)$ 는 회귀 분석 모델의 계수로 각각 중심이  $a_0, a_1$ 이고, 표준편차가  $\alpha_0, \alpha_1$ 로 표현되는 퍼지 넘버이다.  $X_i(x_i, \gamma_i)$ 와  $Y_i(y_i, e_i)$ 는 회귀 분석 모델의 변수로써 각각 중심이  $x_i, y_i$ 이고, 표준편차가  $\gamma_i, e_i$ 로 표현되는 퍼지 넘버이다.

$$Y_2 = C_S T + D_S + e \quad (4)$$

여기서, T는 식(1)에서와 같이 계산된 적용 온도 값이며  $C_S$ 와  $D_S$ 는 회귀분석을 통해 계산된 기울기와 절편이다. 식(4)에서 계산된 회귀 수요값에 추가된 e는 평일과 특수일의 온도차이가 클수록 수요증강 영향이 더 큰 특성을 고려하기 위해 사용되었으며 다음의 식(5)와 같이 정의한다.

$$e = (T_{\text{특수일}} - T_{\text{평일 평균}}) \times \Delta P \quad (5)$$

여기서,  $\Delta P$ 는 회귀분석을 통해 계산된 1°C 증가에 대한 수요증가분(MW/°C)이다. 평일과 특수일의 온도값의 차이가 클수록 온도 변화분에 대한 추가적인 고려를 통해 더 좋은 예측 수요값을 얻을 수 있었다.

온도를 고려한 특수일 전력수요예측 알고리즘은 다음 그림 5와 같다.

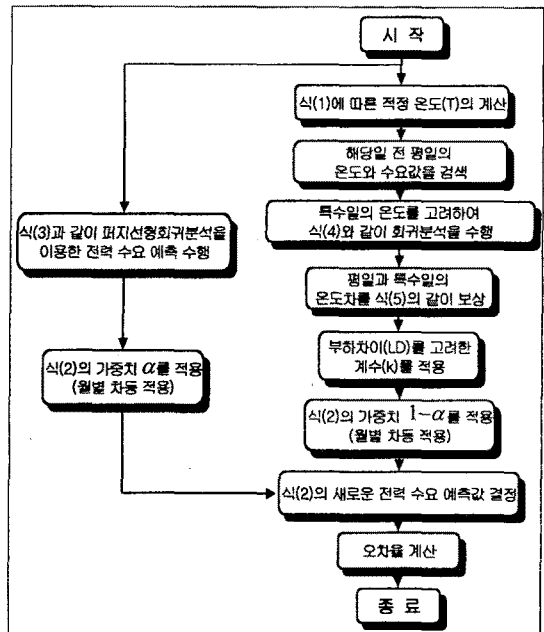


그림 5. 온도를 고려한 특수일 전력수요예측 알고리즘

식(2)에서 사용된 온도 영향을 고려하는 가중치를 계산하는 방법으로 회귀분석의 상수 추정에 의한 방식을

적용하여 적절한 가중치를 계산한 결과 현충일 약 0.2, 제헌절 0.25, 광복절 0.3의 값을 결정하였다. 온도 영향 가중치는 적용한 결과는 계산된 오차율로부터 참조하였다. 온도 영향 가중치 계산 방법은 지난해를 기준으로 우선 몇 개의 가중치를 평균값을 통해 미리 정한 다음 방정식의 잔차 합을 제곱근을 계산하여 가장 작은 잔차 제곱의 합일 때 예측값을 결정하였다.

또한, 식(4)에서 온도를 고려한 회귀분석에 평일과 특수일에 대한 부하 차이(LD : Load Difference)를 고려하기 위하여 계수(k)를 사용하였다. 본 논문에서는 LD를 평일에 대한 특수일의 수요의 부하차이를 전년도 평균 5년간의 평일과 특수일간의 부하 차이를 비의 형태로 고려하였다. 온도 영향을 고려한 가중치( $\alpha$ )와 마찬가지로 과거 데이터를 이용한 상수추정의 결과를 이용하였다.

### 2.3. 사례 연구

사용된 데이터는 1988년 6월 6일부터 1997년 8월 15일까지의 총 30여 개의 특수일을 대상으로 제안된 기법의 테스트를 수행하였으며 같은 기간의 한전 수요 실적치와 기상청의 최대온도와 최소온도를 사용하였다. 사용된 온도는 서로 다른 지역별 온도 영향을 고려하기 위해 지역별 수요분포에 해당지역 온도를 곱한 가중 평균값으로 결정하였다. (5) 지역별 수요분포비율에 따라 서울은 0.49, 대전은 0.09, 대구는 0.13, 부산은 0.23, 그리고, 광주는 0.05의 값을 사용하며 최근 자료일수록 지역별 가중계수는 서울의 비율이 떨어지고 나머지 지역의 가중계수가 증가하는 형태를 나타냈다. 또한, 상관계수 분석을 통해 식(1)에서 사용된 온도 결정 계수는 표 1의 상관 계수 비교를 통해 해당 년도의 최적 값으로 결정하였다. 각 연도별 평균치로 계산한 결과와 큰 차이가 없었기 때문에 온도 결정 계수( $\delta$ )는 각 연도별 평균치인 2.5로 선택하였다.

표 1. 가중 평균 온도에 대한 상관계수(A : 최대온도, B : 최저온도)

가중평균온도	93년 상관계수	94년 상관계수	95년 상관계수	96년 상관계수
$\frac{(A+B)}{2}$	$R^2=0.5129$	$R^2=0.9189$	$R^2=0.4496$	$R^2=0.869$
$\frac{(A+B*2)}{2}$	$R^2=0.6608$	$R^2=0.9626$	$R^2=0.4365$	$R^2=0.9601$
$\frac{(A+B*2.2)}{2}$	$R^2=6562$	$R^2=0.9622$	$R^2=0.4388$	$R^2=0.9077$
$\frac{(A+B*2.5)}{2}$	$R^2=0.649$	$R^2=0.9611$	$R^2=0.4414$	$R^2=0.909$
$\frac{(A+B*3)}{2}$	$R^2=0.6375$	$R^2=0.9587$	$R^2=0.444$	$R^2=0.9094$
$\frac{(A+B*4)}{2}$	$R^2=0.6138$	$R^2=0.9541$	$R^2=0.4475$	$R^2=0.9073$

구성된 모델의 정확성 비교를 위해 퍼지 전문가 시스템을 이용한 예측 방법(6)과 퍼지 선형 회귀 분석을 이용한 예측 방법(2)을 참조하여 상대오차 비교를 통해 표 2와 같이 제시하였다. 퍼지 전문가 시스템과의 비교에서는 평균 2.3[%]이상의 오차율 감소를 보였으며, 퍼지 회귀 분석의 경우는 10년간의 자료를 비교한 결과 현충일의 경우 평균 0.958[%], 제헌절의 경우 평균 2.165[%], 그리고, 광복절의 경우 1.768[%]정도의 오차율 감소를 보여 제안된 모델의 효용성을 확인할 수 있었다. 특히, 퍼지 선형 회귀분석을 이용한 예측 방법과의 비교에서 96년도 제헌절의 경우와 같이 오차율이 더 증가한 경우도 발생하였다. 이러한 이유는 해당일의 온도에 대한 수요 상관성이 많이 떨어졌기 때문이며, 이러한 경우 온도 이외의 다른 기상요소에 대한 고려와 년수요 증가분 그리고, 다른 알 수 없는 수요 급변 요소가 발생했기 때문이다. 따라서, 이러한 불확실 요소들을 고

려한 다변수 회귀분석이나 다른 예측방법과의 조합을 통해 보다 좋은 예측 결과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

표 2. 퍼지 수요 예측 기법에 따른 정확성 비교

96년	상대오차 비교[%]		
	퍼지 전문가 시스템을 이용한 예측 방법	퍼지 선형 회귀 분석을 이용한 예측 방법	제안된 모델
현충일	4.87	3.33	2.95
제헌절	6.95	5.55	5.89
광복절	4.82	2.055	0.89
평균	5.55	3.645	3.25

### 4. 결 론

본 논문에서는 온도와 일 최대 수요와의 상관관계를 고려하기 위해 일 최대 부하와 일별 최고온도 및 최저온도의 관계를 선형 회귀식의 형태로 구성된 뒤 퍼지 모델에 적용하여 보다 정확한 수요를 계산하였다. 기존의 퍼지 선형 회귀 분석에 의한 예측 방법과 퍼지 전문가 시스템을 이용한 예측 방법과의 오차율 비교를 통하여 본 논문에서 사용된 방법의 효용성을 입증하였으며 기상요소 고려에 대한 필요성을 확인할 수 있었다. 보다 정확한 예측 결과를 얻기 위해서는 본 논문에서 고려되지 않은 불확실 요소를 다변수 회귀분석 모델형태로 적용하거나 퍼지 회귀분석에 최소제곱법(least square method)이나 신경망 이론과 같은 예측 방법의 조합을 이용한 종합적이고 복합적 방법을 통해 예측 성능 향상을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

※본 연구는 한국과학재단 목적기초연구  
(과제번호:R01-2000-00011)지원으로 수행되었음.

#### [참고 문헌]

- [1] Hwang Gap Ju, "Development of Integrated System for Power System Operational Planning and Analysis, Load Forecasting Report(KEPRI), vol.1, 2001
- [2] 조현호, 백영식, 송경민, 홍덕현, "퍼지 선형회귀분석 알고리즘을 이용한 특수일 전력수요예측", 2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp.298-300, 2000.7
- [3] M. Daneshdoost, M. Lotfalian and G. Bumroonggit, "Neural Network with Fuzzy Set-Based Classification for short-term Load Forecasting", IEEE Trans. on Power System, Vol. 13, No.4, pp.1386~1391, 1998
- [4] Takeshi Haida, "Regression Based Peak Load Forecasting Using a Transformation Technique", IEEE Trans. on Power System, pp1788~1794, Vol. 9, No.4, 1994. 10
- [5] Yan Chen Shan, "Short-term Load Forecasting Based on Weather Information", IEEE Trans. on Power System, 1998
- [6] Gwnag-Ho Kim, "Short-term Load Forecasting for Special Days in Anomalous Load Conditions Using Neural Networks and Fuzzy Inference Method", IEEE Trans. on Power System, Vol. 15, No.2, pp559~565, 2000. 5